УДК 620.178.162:519.87

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ ТОПЛИВА НА НАДЕЖНОСТЬ ДВИГАТЕЛЕЙ ДОРОЖНЫХ МАШИН

Г.Г. Петров, В.А. Доценко*, А.В. Лысунец

Томский государственный архитектурно-строительный университет
E-mail: at_alex@tsuab.ru
*Томский политехнический университет

Разработана математическая модель абразивного изнашивания плунжерных пар топливных насосов высокого давления, учитывающая загрязненность дизельного топлива. Предложен метод оценки эффективности системы очистки дизельного топлива, который может быть использован для оптимизации систем очистки нефтепродуктов

Одним из основных факторов, оказывающих существенное влияние на надежность дорожных и строительных машин, является безотказная работа двигателя, и в первую очередь, его топливной аппаратуры. Исследование и анализ причин отказов показывает, что до 50 % из них прямо или косвенно связано с загрязненностью дизельного топлива [1]. В современных двигателях очистка топлива осуществляется двумя (иногда тремя) последовательно установленными фильтрами грубой (ФГО) и тонкой очистки (ФТО), образующими систему очистки. Одной из задач проектирования систем очистки топлива является подбор элементов системы, обеспечивающих надежную работу топливной аппаратуры, и, прежде всего, снижение интенсивности износа плунжерных пар топливного насоса высокого давления (ТНВД). В связи с этим практический интерес представляют исследования влияния эффек-

тивности системы очистки топлива на износ плунжерных пар ТНВД. Эта задача может быть решена с использованием вероятностного подхода [2].

Результаты исследования износа пар трения показывают, что наибольшее влияние на интенсивность изнашивания оказывают частицы, размер x которых соизмерим с зазором δ, для плунжерных пар ТНВД δ=5...8 мкм. В тоже время темп износа зависит и от ряда других факторов: массовой концентрации загрязнений, их дисперсного состава, твердости и др. Полагая, что участие частиц загрязнений в процессе абразивного изнашивания определяется вероятностью попадания частиц в зазор пары трения и вероятности абразивного контакта частиц с поверхностями трения, полная вероятность P_u будет:

$$P_u = \lambda\,\alpha\,x e^{-\alpha x}, \qquad (1)$$

где $\alpha=1/\delta\cdot k_ф$; $k_ф$=1,6...1,8 – коэффициент формы частицы; λ=2,73 – основание натурального логарифма.

Величина удельного износа пар трения $\Delta И$, отнесенная к массе Δg, поступившего в зазор монодисперсного абразива с учетом (1) будет

$$\frac{\Delta И}{\Delta g} = k_u P_u = k_u \lambda\,\alpha\,x e^{-\alpha x}, \qquad (2)$$

где k_u – коэффициент интенсивности износа, учитывающий влияние свойств материала пар трения, абразива, условий трения и других факторов, совокупно влияющих на процесс изнашивания.

Известно, что с увеличением зазора в паре трения абразивное воздействие частиц размером x на износ снижается. Полагая, что уменьшение интенсивности износа пропорционально k_u, он может быть определен как:

$$k_u = k_{uo}\, e^{-\beta\tau}, \qquad (3)$$

где k_{uo} – коэффициент интенсивности износа в начале процесса изнашивания; β – коэффициент снижения темпа износа.

Выразим из (2) элементарный износ с учетом (3)

$$И = \frac{k_{uo}}{\beta} V c_o \lambda\alpha x e^{-\alpha x}(1-e^{-\beta\tau}), \qquad (4)$$

где V – расход топлива; c_o – концентрация загрязнений в жидкости, τ – фактор времени.

Уравнение (4) представляет собой один из вариантов математической модели износа пар трения при воздействии на них монодисперсных загрязнений с частицами размером x.

В реальных условиях эксплуатации дорожных машин загрязнения, поступающие в топливо, имеют полидисперсный характер, описываемый уравнением вида:

$$dF(x) = a_m^2 x e^{-a_m x} dx, \qquad (5)$$

здесь $a_m=1,679/x_{0,5(m)}$ – параметр массового распределения частиц загрязнителя по размерам, включающий размер частиц $x_{0,5(m)}$ делящий интегральную функцию $F(x)$ пополам (медиана распределения).

В процессе очистки фильтры воздействуют на загрязнения, находящиеся в топливе, снижая их массу и модифицируя дисперсный состав загрязнений. Коэффициент отфильтровывания φ_{xc} системой частиц размером x может быть определен по формуле:

$$\varphi_{xc} = 1-(1-b_1 x)e^{-b_1 x}\cdot(1+b_2 x)e^{-b_2 x}, \qquad (6)$$

где $b_1=1,679/d_{0,5(1)}$; $b_2=1,679/d_{0,5(2)}$ – параметры, выраженные через 50 % тонкость фильтрации; $d_{0,5}$ – параметр, соответствующий размеру частиц, 50 % которых задерживается фильтрами.

В случае установки перед парой трения фильтров грубой и тонкой очистки с учетом (5) и (6), получаем:

$$\int_0^И dИ = \int_0^\tau\int_0^\infty \lambda\alpha x e^{-\alpha x} a_m^2 x e^{-a_m x}(1+b_1 x)e^{-b_1 x}\times$$
$$\times(1+b_2 x)e^{-b_2 x} k_{u0} V c_0 e^{-\beta\tau} dx\, d\tau. \qquad (7)$$

Интегрирование (7) дает математическую модель износа для случая двухступенчатой очистки топлива:

$$И = \frac{k_{uo}}{\beta} V c_o \lambda(1-e^{-\beta\tau})\left[\frac{2\alpha a_m^2}{(\alpha+a_m+b_1+b_2)^3}+\right.$$
$$\left.+\frac{6\alpha a_m^2(b_1+b_2)}{(\alpha+a_m+b_1+b_2)^4}+\frac{24\alpha a_m^2 b_1 b_2}{(\alpha+a_m+b_1+b_2)^5}\right]. \qquad (8)$$

Ур. (8) позволяет получить более удобную для практического использования характеристику: безразмерная интенсивность изнашивания $\overline{I}$ в начале процесса.

Для этого, обозначив в ур. (8) максимальную скорость изнашивания – $U_{max}=k_{uo}\cdot c_o\cdot V$, а безразмерную скорость: $\overline{U}=U/U_{max}$, получим:

$$\overline{I} = \left(\frac{d\widehat{U}}{d\tau}\right)_{\tau=0} = \lambda\left[\frac{2\alpha a_m^2}{(\alpha+a_m+b_1+b_2)^3}+\right.$$
$$\left.+\frac{6\alpha a_m^2(b_1+b_2)}{(\alpha+a_m+b_1+b_2)^4}+\frac{24\alpha a_m b_1 b_2}{(\alpha+a_m+b_1+b_2)^5}\right]. \qquad (9)$$

Ур. (9) в аналитическом виде описывает закономерность влияния качества очистки дизельного топлива на интенсивность износа плунжерных пар ТНВД. На рис. 1 приведена номограмма безразмерной интенсивности износа в зависимости от номинальной (95 %) тонкости фильтрации ФГО (первая ступень очистки) и ФТО (вторая ступень очистки). Расчетные кривые номограммы получены с использованием ур. (9).

Анализ номограммы показывает, что очистка топлива двумя последовательно установленными фильтрами позволяет заметно снизить интенсивность износа плунжерных пар ТНВД. При этом определяющим является тонкость фильтрации второй ступени очистки (ФТО). Например, при тонкости фильтрации первой ступени (ФГО) 40 мкм и второй ступени (ФТО) 3 мкм интенсивность износа составляет 0,059, а при той же тонкости первой ступени, а тонкости второй 10 мкм, интенсивность износа составляет 0,311 или возрастает в 5,27 раза.

С повышением тонкости фильтрации первой ступени очистки (ФГО) интенсивность износа также снижается. Однако ее влияние при различных комбинациях ступеней различно. Например, при тонкости фильтрации второй ступени (ФТО) 3 мкм, а первой ступени (ФГО) 40 мкм интенсивность износа составляет 0,059, а при тонкости фильтрации обеих ступеней очистки 3 мкм интенсивность износа снижается до 0,022 или в 2,68 раза. При тонкости фильтрации второй ступени (ФТО) 10 мкм, а первой ступени 40 мкм интенсивность износа составляет 0,311, а при тонкости фильтрации обеих ступеней по 10 мкм интенсивность износа снижается до 0,196, т.е. только на 47 %.

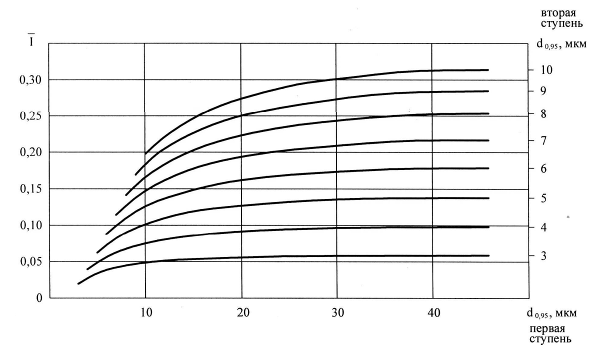


Рис. 1. *Номограмма безразмерной интенсивности износа в зависимости от номинальной тонкости фильтрации*

В целом влияние ФГО с повышением тонкости фильтрации ФТО заметно снижается. Так, для фильтра, имеющего тонкость фильтрации второй ступени (ФТО) 3 мкм, повышение тонкости фильтрации первой ступени (ФГО) с 40 до 20 мкм практически не оказывает влияние на интенсивность износа плунжерных пар ТНВД.

Анализ влияния качества очистки топлива на износ плунжерных пар ТНВД показывает, что повышение эффективности работы системы очистки может быть достигнуто путем подбора материала фильтрующих элементов ступеней очистки.

На рис. 2 приведен график зависимости безразмерной интенсивности износа плунжерных пар при использовании фильтров, фильтрующие элементы в которых выполнены из фильтровальных бумаг и картонов марок БТ-3П, БТ-5П, БТ-10, БТ 15П, БФМ и КФМ, имеющих номинальную (95 %) тонкость фильтрации 3...20 мкм. Эффективность первой ступени очистки (ФГО) выражена через 50 % тонкость фильтрации, $d_{0,5}=d_{0,95}/2,829$.

Анализ расчетных кривых позволяет оценить интенсивность износа плунжерных пар при различных вариантах фильтрующих элементов ФГО и ФТО. Например, при установке одиночного фильтра с элементом, выполненным из бумаги БТ-3П, значение параметра $\bar{I}$=0,11, а при установке перед ним дополнительной ступени очистки (ФГО) с элементом из бумаги БТ-10П значение параметра $\bar{I}$=0,07. Таким образом, интенсивность износа плунжерных пар при двухступенчатой очистке будет в 1,57 раза ниже, чем при одноступенчатой.

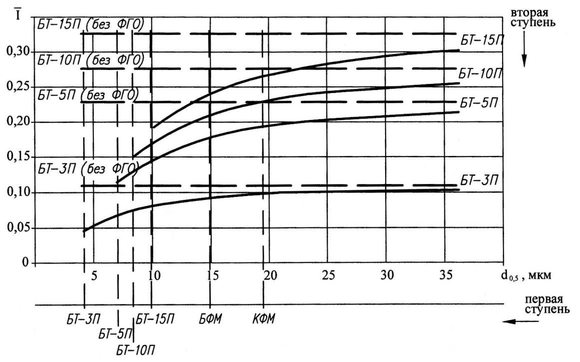


Рис. 2. *Зависимость интенсивности изнашивания от типов фильтровальных бумаг*

При использовании в качестве дополнительной ступени очистки (ФГО) фильтра с элементом из картона марки КФМ, параметр $\bar{I}$=0,1, следовательно, интенсивность износа снизится в 1,1 раза. Аналогично могут быть рассмотрены и иные варианты очистки. Таким образом, предложенный метод позволяет оценить влияние системы очистки состоящей из двух фильтров на интенсивность износа плунжерных пар ТНВД и учесть результаты анализа при проектировании систем питания дизельных двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кадыров С.М. Долговечность автотракторных дизелей в условиях Средней Азии. – Ташкент: Укитувчи, 1982. – 270 с.
2. Тарасов В.С. Исследование износа и повышение долговечности плунжерных пар тракторного дизеля. Автореф. дис. ... к.т.н. – Саратов, 1968.
3. Удлер Э.И. Фильтрация нефтепродуктов. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1988. – 216 с.